



RESEARCH ON PROPOSING MIXTURE COMPOSITION OF GEOPOLYMER USING SEA SAND BY EXPERIMENTAL DESIGN METHOD

Dang Thuy Chi¹, Trinh Hoang Son^{2*}

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

² University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 09/01/2023

Revised: 12/02/2023

Accepted: 14/02/2023

Published online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.10>

* *Corresponding author*

Email: sonth@utt.edu.vn; Tel: +84989930513

Abstract. The research on geopolymer concrete (GPC) using sea sand in the world has been carried out over 10 years. In Vietnam, the studies on the GPC with sea sand are shortage. Also, the potential of the the GPC with sea sand in coastal infrastructure construction has not been significantly considered. In this paper, to initially evaluate the ability the sand taken from Cua Lo coast, Nghe An province, Vietnam to manufacture GPC without any futher treatment, an experiment design method we carried out in our university laboratoty. The result outcome has successfully proposed 03 GPC mixtures with the graded factor of 15, 25, and 35 MPa, respectively. The achievement of the study suggested that it is possible to replace conventional coarse sand by sea sand in the production of GPC. Thus, our study will in turn contribute to the efficient use of sea sand resources, reducing exploitation of amount of depleted traditional coarse sand.

Keywords: geopolymer concrete, sea sand, design of experiments.

© 2023 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT TỈ LỆ THÀNH PHẦN VẬT LIỆU CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER SỬ DỤNG CÁT BIỂN BẰNG PHƯƠNG PHÁP QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

Đặng Thùy Chi¹, Trịnh Hoàng Sơn^{2*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, Số 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 09/01/2023

Ngày nhận bài sửa: 12/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 14/02/2023

Ngày xuất bản Online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.10>

* Tác giả liên hệ

Email: sonth@utt.edu.vn; Tel: +84989930513

Tóm tắt. Các nghiên cứu về bê tông geopolime (GPC) sử dụng cát biển trên thế giới mới được phát triển khoảng 10 năm trở lại đây. Ở Việt Nam, các nghiên cứu về GPC sử dụng cát mặn hiện còn khá sơ khai, chưa đánh giá hết tiềm năng của việc ứng dụng loại vật liệu này trong xây dựng hạ tầng ven biển. Nghiên cứu này sử dụng cát lấy từ bờ biển Cửa Lò, Nghệ An nhằm bước đầu đánh giá khả năng chế tạo GPC chịu lực từ các nguồn vật liệu nhiễm mặn không qua xử lý bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm. Kết quả đã đề xuất ra 03 thành phần cấp phối của GPC tương ứng cấp 15, 25, 35 MPa. Như vậy có thể thấy được triển vọng của việc thay thế cát vàng trong chế tạo bê tông chịu lực bằng cát biển, góp phần sử dụng hiệu quả nguồn cát phong phú và giảm khai thác lượng cát vàng đang ngày càng cạn kiệt.

Từ khóa: bê tông geopolime, cát biển, quy hoạch thực nghiệm

© 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam là một quốc gia biển, đứng thứ 27 về chiều dài bờ biển trong số 157 quốc gia ven biển, các quốc đảo và các lãnh thổ trên thế giới. Công tác phát triển cơ sở hạ tầng phục vụ cho kinh tế biển cũng như các mục tiêu quốc phòng là rất cấp thiết. Tuy nhiên, việc xây dựng các công trình ven biển gặp nhiều khó khăn do thiếu hụt nguồn nguyên liệu thích hợp để chế tạo vật liệu bê tông. Các loại bê tông thường được chế tạo bằng cách trộn xi măng Portland với nước và cốt liệu có yêu cầu về hàm lượng ion clo thấp nên không thể sử dụng cát biển.

Trên thế giới cũng như ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu khử mặn bằng cách rửa cát biển. Tuy nhiên, việc xây dựng các nhà máy khử mặn là rất khó khăn, cộng với quá trình khử mặn cho cát biển cũng tiêu tốn khá nhiều tài nguyên, ít có ý nghĩa cả về mặt khoa học cũng như tính thực tế. Trong khi đó, vật liệu geopolimer hoàn toàn có triển vọng trong việc tận dụng các nguồn nguyên liệu nhiễm mặn để chế tạo bê tông [1–5]. Vì vậy, việc triển khai nghiên cứu hướng tới việc sử dụng các vật liệu tại chỗ là cát nhiễm mặn kết hợp với chất kết dính geopolimer để xây dựng các công trình hạ tầng ven biển có ý nghĩa khoa học, thực tiễn, có tính thời sự và đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững trong xây dựng.

Hầu hết các nghiên cứu trong kỹ thuật đều gắn với thực nghiệm. Nghiên cứu thực nghiệm trong kỹ thuật có mục đích xác định các mối quan hệ giữa các thông số đầu vào với một hay nhiều giá trị đầu ra của đối tượng. Hiểu rõ quan hệ này có thể giúp cải thiện hay tối ưu hóa đối tượng nghiên cứu. Nghiên cứu thực nghiệm cần được thực hiện theo kế hoạch. Lý thuyết về xây dựng kế hoạch thực nghiệm còn được gọi là “Quy hoạch thực nghiệm” hay “Thiết kế thí nghiệm” (Design of Experiment – DOE). DOE giúp nhà nghiên cứu có thể thực hiện ít thí nghiệm nhất nhưng lại thu được nhiều thông tin hữu ích nhất về đối tượng được nghiên cứu. Một trong những mục đích chính của nghiên cứu quy hoạch thực nghiệm là tìm giá trị cực trị hay tìm vùng tối ưu cho một quá trình hay các điều kiện tối ưu để vận hành một hệ thống. Lớp các bài toán nghiên cứu thực nghiệm về vấn đề tối ưu thường được biết đến với tên gọi “phương pháp bề mặt chỉ tiêu” (Response Surface Method-RSM). Phương pháp bề mặt chỉ tiêu rất hữu ích trong việc phát triển, nâng cao hiệu quả và tối ưu hóa quá trình sản xuất. Nó cũng có các ứng dụng quan trọng trong việc thiết kế và phát triển các sản phẩm mới cũng như cải thiện các sản phẩm hiện có. Để đạt được mục đích trên phương pháp RSM thực hiện việc xây dựng hàm mô tả bề mặt chỉ tiêu phụ thuộc các thông số đầu vào. Trên mô hình hồi quy thực nghiệm đó mà có thể tối ưu hóa được giá trị đầu ra. Trên thực tế, bê tông geopolimer nói chung và bê tông geopolimer sử dụng cát biển nói riêng được coi là vật liệu mới. Các lý thuyết về thiết kế thành phần, chế tạo vật liệu này chưa nhiều và chưa thể áp dụng rộng rãi do thành phần vật liệu ở các nước khác nhau [6–9]. Vì vậy, nghiên cứu này chọn phương pháp quy hoạch thực nghiệm để khảo sát và lựa chọn tỉ lệ thành phần bê tông geopolimer sử dụng cát biển và chất hoạt hóa một thành phần.

2. VẬT LIỆU CHẾ TẠO VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

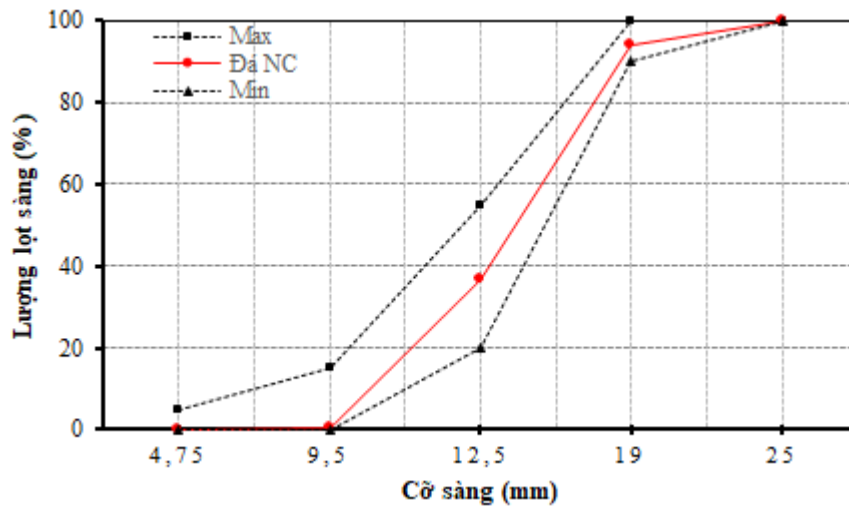
Quá trình geopolimer hóa liên quan đến phản ứng hóa học xảy ra nhanh giữa các oxit aluminosilicat và các silicat khác nhau trong điều kiện kiềm mạnh. Hay chất kết dính geopolimer được hình thành từ vật liệu chứa oxit silic và oxit nhôm ở dạng vô định hình và chất hoạt hoá. Chất hoạt hoá thông thường được sử dụng là hỗn hợp của dung dịch Natri hydroxyt (NaOH) và thủy tinh lỏng (Na_2SiO_3). Nghiên cứu này sử dụng chất hoạt hoá một thành phần dạng hạt bột mịn, có khối lượng thể tích là $0,89 \text{ g/cm}^3$ và có thành phần hóa học bao gồm Na_2O 29%; SiO_2 29,12%; CKT (cặn không tan) 0,02%; Fe 54 ppm.

Vật liệu khoáng giàu silic và nhôm dùng trong nghiên cứu là hỗn hợp tro bay khô và xỉ lò cao nghiền mịn. Tro bay sử dụng được lấy tại nhà máy nhiệt điện Phả Lại có thành phần hóa học đạt yêu cầu của tro bay loại F theo tiêu chuẩn TCVN 10302-2014 [10], khối lượng riêng 2500 kg/m^3 , độ mịn 94% lọt qua sàng 0,08 mm. Xi lò cao nghiền mịn S95 của nhà máy Hoà Phát – Hải Dương được sử dụng làm vật liệu thành phần của chất kết dính trong nghiên cứu. Xi lò cao S95 Hòa Phát là sản phẩm đóng bao được thương mại hóa có kích thước trung bình hạt $6,871 \mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,88 \text{ g/cm}^3$, khối lượng thể tích 1210 kg/m^3 và bề mặt riêng $5237 \text{ cm}^2/\text{g}$ thỏa mãn theo TCVN 11586:2016 [11].

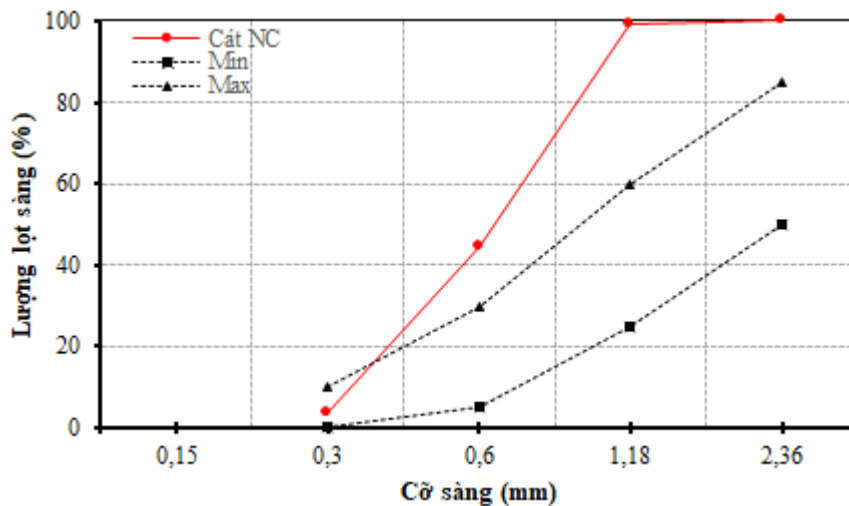


Hình 1. Vật liệu chất kết dính.

Cốt liệu lớn sử dụng trong nghiên cứu là đá dăm kích thước 10-20 mm, khai thác tại mỏ Sunway, Hà Nội. Cát biển sử dụng được lấy ở ven biển Cửa Lò, Nghệ An. Thành phần hạt của đá, cát xác định theo ASTM C136-04 [12], kết quả được thể hiện như Hình 2 và Hình 3.



Hình 2. Thành phần hạt của đá dăm.



Hình 3. Thành phần hạt của cát biển.

Cát biển Cửa Lò được phân tích thành phần hóa học bao gồm SiO₂ (91,63%); Al₂O₃ (3,746%); Fe₂O₃ (0,442%); K₂O (0,408%); Na₂O (1,306%); CaO (1,210%); MgO (0,372%); SO₃ (0,088%); Cl⁻ (0,798%).

Quá trình nhào trộn bê tông geopolymere được thực hiện bằng máy trộn cưỡng bức. Ban đầu hỗn hợp khô được trộn trong vòng 2 phút. Sau đó, nước được cho vào trực và trộn tiếp trong vòng 2 phút để đạt được hỗn hợp đồng nhất. Thời gian nhào trộn hỗn hợp geopolymere dài hơn so với việc chế tạo bê tông xi măng do hỗn hợp geopolymere có độ nhớt cao hơn so với bê tông xi măng truyền thống. Hỗn hợp được đổ vào khuôn và đầm chặt theo ASTM C192 [13]. Sau 24h, mẫu được tháo khuôn và lưu ở điều kiện phòng thí nghiệm cho đến khi thử nghiệm.

3. TỈ LỆ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG GEOPOLYMER

3.1. Lựa chọn hàm mục tiêu và các yếu tố ảnh hưởng

Bê tông geopolymere (GPC) làm việc ở trạng thái chịu nén là tốt nhất. Việc lựa chọn thành phần hỗn hợp các loại bê tông xi măng đều căn cứ vào chỉ tiêu cường độ chịu nén. Trong phạm vi nghiên cứu, lựa chọn cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày của bê tông geopolymere sử dụng cát nhiễm mặn là hàm mục tiêu để thiết kế thành phần của hỗn hợp.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của bê tông geopolymere sử dụng chất hoạt hóa dạng bột bao gồm: lượng chất kết dính bao gồm (tro bay, xỉ lò cao, chất hoạt hóa); tỉ lệ tro bay/xỉ lò cao; lượng và loại chất hoạt hóa dạng bột khô, tỉ lệ nước/chất kết dính hoặc lượng phụ siêu dẻo thêm vào và nhiệt độ và thời gian bảo dưỡng [6, 8, 9, 14]. Tương tự như bê tông xi măng đảm bảo yếu tố kinh tế và kỹ thuật thì yếu tố ảnh hưởng chính đến cường độ nén là tỉ lệ nước/chất kết dính được nghiên cứu nhiều nhất. Hàm lượng nước của bê tông geopolymere có ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển cường độ (tương tự như N/CKD trong bê tông xi măng), cho thấy rằng độ ẩm của cốt liệu cần được kiểm soát và tính đến trong thiết kế cấp phối. Từ đó, trong phạm vi nghiên cứu nhóm tác giả lựa chọn hai yếu tố ảnh hưởng chính đến cường độ nén là tỉ lệ nước/chất kết dính (biến X₁); hàm lượng chất hoạt hóa dạng bột (biến X₂) với các điều kiện khác cố định bao gồm: Tỉ lệ tro bay/xỉ lò cao là 60/40 [14–18], hàm lượng cát biển sử dụng là 100% trong hỗn hợp thành phần vật liệu. Cát biển loại lựa chọn là cát biển Cửa Lò (Nghệ An).

Dựa vào cấp phối bê tông geopolymere đã được nghiên cứu trong và ngoài nước kết hợp với một số kết quả nghiên cứu thăm dò khảo sát đã thực hiện trước đó, trong phạm vi nghiên cứu nhóm tác giả chọn giá trị biến thiên của 2 biến, như Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị và khoảng biến thiên của các yếu tố ảnh hưởng.

Giá trị	X ₁	X ₂
Khoảng biến thiên	$0,3 \leq X_1 \leq 0,4$	$8\% \leq X_2 \leq 15\%$
Bước thí nghiệm	0,1	7%

3.2. Lập kế hoạch thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu

Khi cần mô tả chính xác quan hệ giữa hàm mục tiêu và các thông số thí nghiệm (các biến) thì cần tiến hành lập kế hoạch thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu (Response Surface Design) với hàm mục tiêu là cường độ chịu nén của bê tông geopolymer tro bay cốt liệu xỉ thép.

$$Y=f(X_1, X_2) \quad (1)$$

Trong đó:

X_1 là tỉ lệ nước/chất kết dính (N/CKD); X_2 là hàm lượng chất hoạt hóa (AAM)

Xây dựng kế hoạch thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu (Response Surface Design) nhằm mục đích xây dựng hàm mô tả quan hệ giữa hàm mục tiêu và các thông số thí nghiệm. Sử dụng dạng thiết kế quy hoạch thực nghiệm bậc II hỗn hợp tâm xoay - mặt, 2 biến (Face-centered Design) với khoảng cách trong thí nghiệm chọn là $\alpha = 1$, dạng của phương trình hồi quy.

$$y = a_1 + a_2X_1 + a_3X_2 + a_4X_1X_2 + a_5X_1^2 + a_6X_2^2 \quad (2)$$

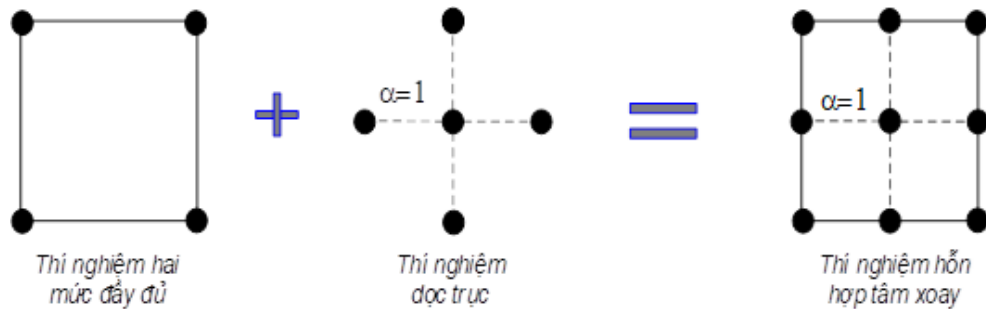
Trình tự thực hiện như sau:

Tìm các hệ số a_i với $i = (1 \text{ đến } 6)$ của phương trình hồi quy.

Đánh giá sự có nghĩa của các hệ số của phương trình hồi quy theo tiêu chuẩn Student.

Kiểm tra tính tương hợp của mô hình theo tiêu chuẩn Fisher. Để đánh giá sự phù hợp của mô hình hồi quy có phù hợp với thực nghiệm và sự phù hợp đó có ý nghĩa thống kê hay không, dùng phân phối Fisher với mức ý nghĩa là 0,05.

Trong nghiên cứu này, để thuận lợi và nhanh chóng cho việc kiểm định phân phối chuẩn và phương sai tất cả các kết quả thí nghiệm tác giả tiến hành tiến lập kế hoạch thực nghiệm bằng phần mềm Minitab. Kế hoạch và sơ đồ thí nghiệm thể hiện trên Hình 4 và Bảng 2.



Hình 4. Sơ đồ thí nghiệm hỗn hợp tâm xoay-mặt.

Bảng 2. Bảng mã hóa các biến số và các điểm quy hoạch thực nghiệm.

Các yếu tố ảnh hưởng	Biến mã hóa	Các điểm quy hoạch bậc hai			Mức quy hoạch (σ)
		-1	0	1	
Tỉ lệ nước/chất kết dính	X_1	0,3	0,35	0,4	0,05
Hàm lượng chất hoạt hóa/chất kết dính (AAM/CKD)	X_2	8	11,5	15	3,5

Nghiên cứu này, thực hiện số điểm thí nghiệm $N=2k+2k+n_0=9$ (k là số biến thí nghiệm)

với số thí nghiệm ở tâm $n_0 = 1$. Mỗi điểm thí nghiệm có giá trị X_1, X_2 khác nhau và tiến hành với số lần lặp là 6 đảm bảo năng lực thống kê $>80\%$. Tổng số lượng mẫu là $9 \times 6 = 54$ mẫu hình trụ tròn kích thước 150×300 mm.



Hình 5. Chế tạo mẫu cho thí nghiệm tâm xoay-mặt.

Sau khi chế tạo, bảo dưỡng theo yêu cầu và đủ 28 ngày tuổi, toàn bộ các mẫu thí nghiệm sẽ được đem nén theo tiêu chuẩn ASTM C39 [19]. Kết quả nén mẫu thử cường độ được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm nén theo kế hoạch hỗn hợp tâm xoay-mặt.

TT	Biến số thực		Kết quả thí nghiệm nén (MPa)						Trung bình
	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	\bar{Y}
1	0,3	8	33,18	31,82	33,15	31,56	34,28	32,99	32,83
2	0,4	8	15,17	15,63	16,42	15,57	15,36	14,55	15,45
3	0,3	15	44,36	45,63	43,78	45,23	45,78	44,20	44,83
4	0,4	15	29,28	31,88	30,88	30,89	30,58	29,97	30,58
5	0,3	11,5	40,89	42,77	41,89	40,77	42,85	41,45	41,77
6	0,4	11,5	27,38	25,59	26,78	25,88	25,76	24,55	25,99
7	0,35	8	16,79	15,45	15,58	15,26	16,45	15,57	15,85
8	0,35	15	35,45	37,58	37,31	36,48	36,73	34,67	36,37
9	0,35	11,5	24,28	24,48	25,46	23,15	24,46	24,45	24,38

3.3. Phân tích kết quả thí nghiệm

Để phân tích các kết quả thí nghiệm theo trình tự các bước như sau:

Bước 1: Loại bỏ sai số thô (giá trị ngoại lai) theo ASTM E178 [20];

Bước 2: Phân tích hồi quy;

Bước 3: Đánh giá sự phù hợp của phương trình hồi quy;

Bước 4: Tối ưu hóa đơn mục tiêu.

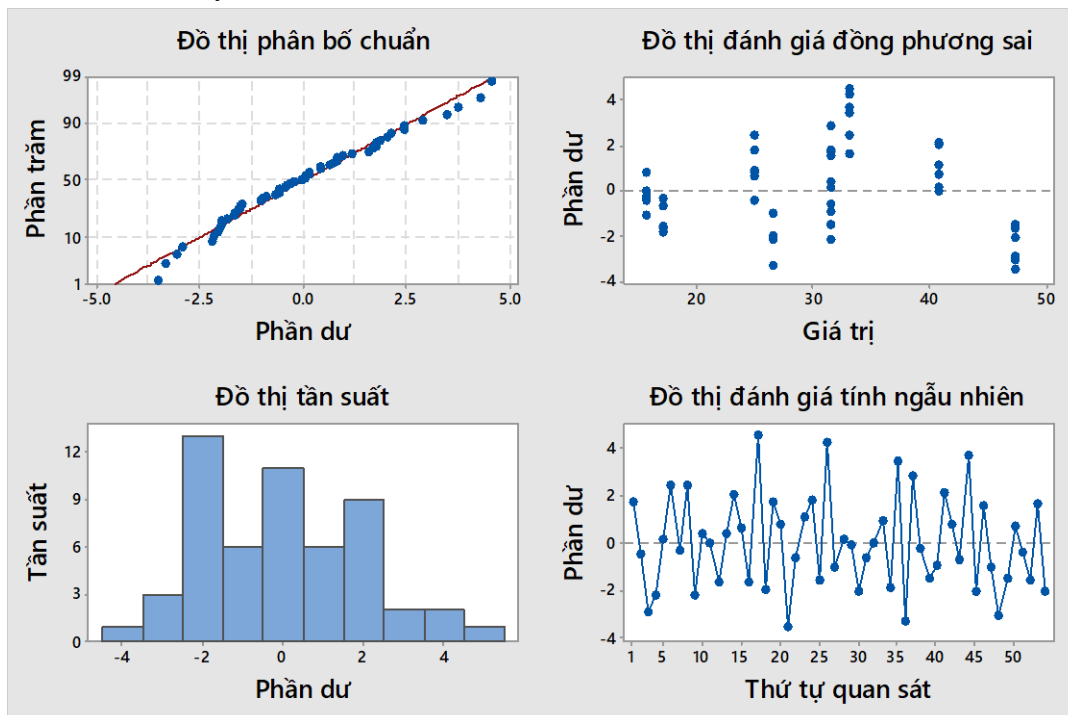
Kết quả phân tích bằng Minitab phương trình hồi quy cường độ nén của bê tông geopolimer đã xác định ở trên:

$$Y = 353,0 - 1943 X_1 + 4,89 X_2 + 2550 X_1 * X_1 - 0,1139 X_2 * X_2 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

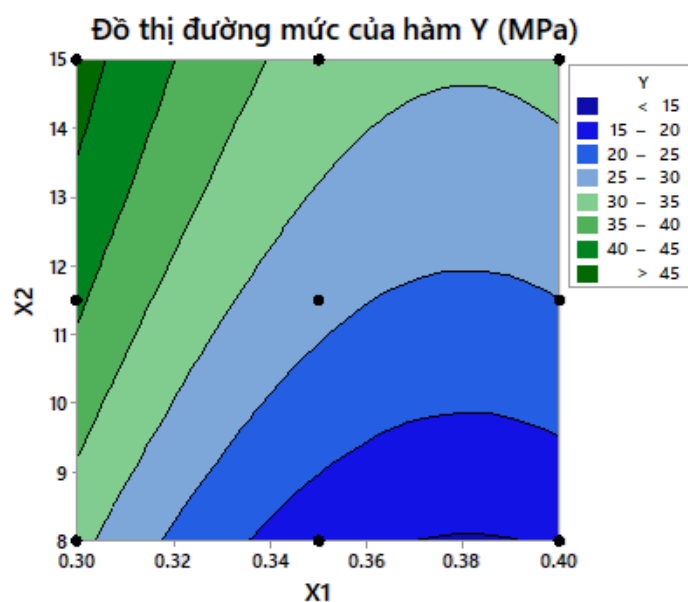
Xem xét các thành phần riêng rẽ của mô hình hồi quy (tuyến tính, bình phương và tương tác), cho thấy tất cả các hệ số trong phương trình hồi quy đều có giá trị xác suất P nhỏ hơn với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$. Do đó, mô hình hồi quy bậc hai hoàn toàn có ý nghĩa thống kê và phù hợp với dữ liệu kết quả thí nghiệm thu được. Đồ thị phân phối chuẩn so sánh xác suất phân bố các số dư (hiển thị bằng các điểm) so với phân phối chuẩn (hiển thị bằng đường thẳng nét liền).

Đồ thị (Hình 6) cho thấy các số dư phân bố rất gần so với phân phối chuẩn. Đồ thị Tần suất hiển thị tần suất xuất hiện các số dư. Đồ thị đánh giá đồng phương sai biểu thị quan hệ giữa các số dư và giá trị tương ứng của mô hình hồi quy. Các điểm phân bố ngẫu nhiên không có quy luật nào chứng tỏ dữ liệu Y không bị ảnh hưởng của các yếu tố nào khác ngoài 2 biến X_1, X_2 . Đồ thị đánh giá tính ngẫu nhiên biểu diễn quan hệ giữa các số dư và thứ tự các điểm dữ liệu. Các điểm phân bố không ngẫu nhiên, không tuân theo quy luật nào chứng tỏ dữ liệu R_n đã nhập không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời gian (chẳng hạn, càng về sau càng lớn). Hai đồ thị đánh giá đồng phương sai và đánh giá ngẫu nhiên càng phân bố ngẫu nhiên quanh đường 0.0 và không theo quy luật nào thì càng tốt.

Các đồ thị bề mặt chỉ tiêu (Hình 7) cho thấy sự ảnh hưởng của hai biến số X_1 và X_2 đến hàm mục tiêu Y là cường độ nén. Giá trị cường độ nén tăng khi biến X_1 tăng và X_2 giảm. Sự tăng giảm của hàm mục tiêu Y không được tuyến tính theo hai biến số là do ảnh hưởng tương tác của hai biến số này.

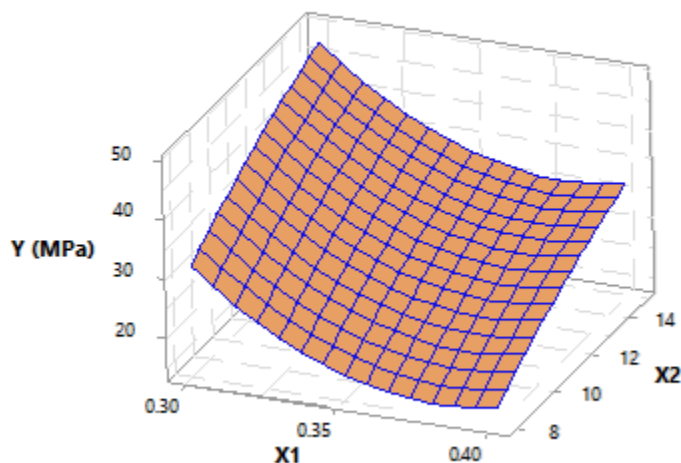


Hình 6. Đồ thị đánh giá số dư.



(a)

Đồ thị mặt tâm xoay của hàm Y



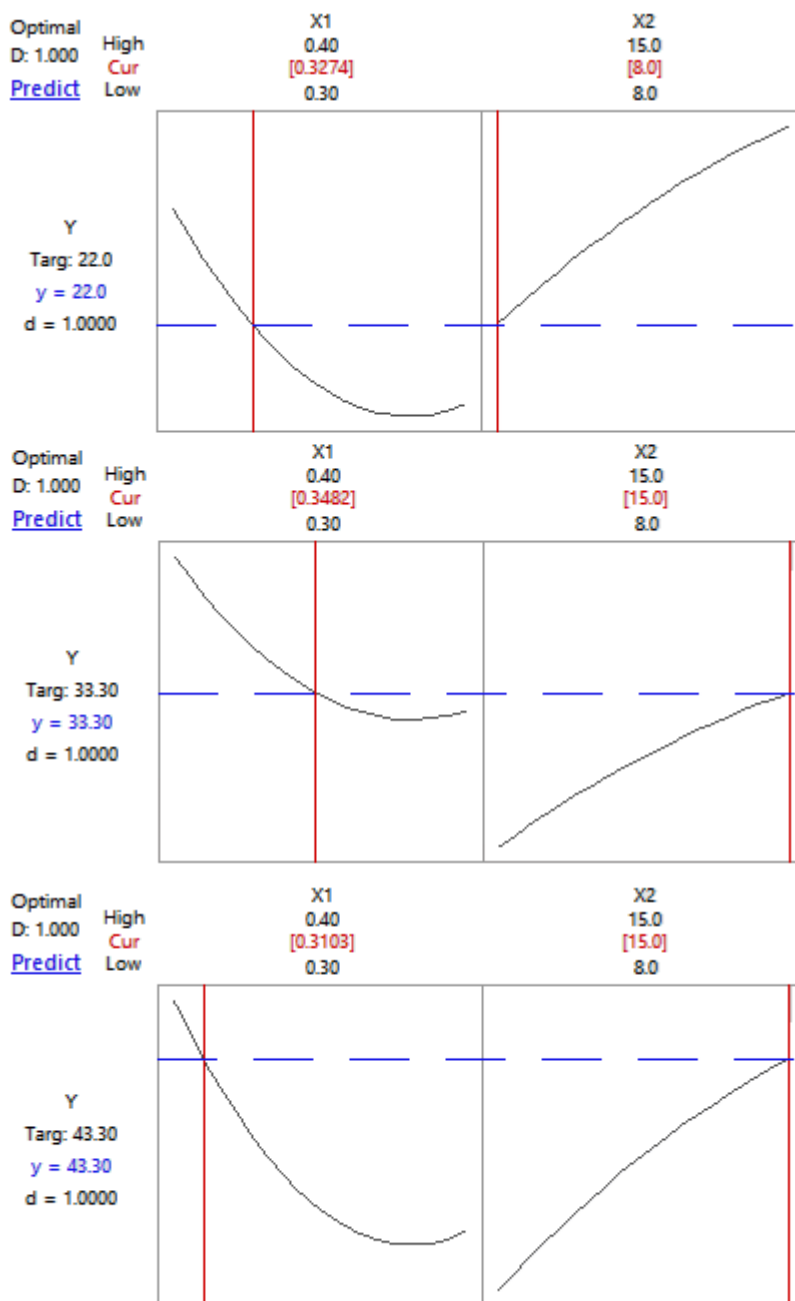
(b)

Hình 7. Đồ thị đường mức (a) và đồ thị bề mặt cho hàm hồi quy (b).

Với mục tiêu của nghiên cứu là tính toán thành phần của bê tông geopolymere sử dụng cát biển và chất hoạt hóa một thành phần với 03 cấp cường độ đặc trưng $f^c = 15, 25, 35$ MPa cho các ứng dụng xây dựng thông thường và phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo. Căn cứ vào phương trình hồi quy đã tìm được tiến hành tối ưu hóa để tìm các giá trị các biến X_1, X_2 theo các cường độ yêu cầu thiết kế. Do chưa có dữ liệu về đồ lệch chuẩn tương ứng, cho nên để xây dựng bảng thành phần cấp phối cho bê tông geopolymere có các cường độ đặc trưng mong muốn $f^c = 15, 25, 35$ MPa, ta xác định thành phần GPC sao cho đạt được giá trị cường độ yêu cầu theo quy định trong tiêu chuẩn ACI 318-11 [21]. Kết quả tối ưu hóa xác định giá trị của hai biến X_1 và X_2 cho các cường độ nén yêu cầu tương ứng như Bảng 4 và Hình 8.

Bảng 4. Giá trị hai biến ứng với cường độ GPC yêu cầu.

Hỗn hợp	Cường độ nén	Cường độ trung bình	Giá trị của biến	
	đặc trưng f'_c (MPa)	yêu cầu f'_{cr} (MPa)	X1	X2
GPC15	15	22	0,327	8
GPC25	25	33,3	0,348	15
GPC35	35	43,3	0,310	15



Hình 8. Kết quả tối ưu hóa cho các cường độ yêu cầu của GPC.

Thành phần cấp phối tương ứng của các cấp bê tông geopolyme sử dụng cát nhiễm mặn được trình bày trong Bảng 5, như sau:

Bảng 5. Thành phần cấp phối của GPC cấp 15, 25, 35 MPa.

Thành phần của hỗn hợp GPC	GPC15	GPC25	GPC35
Tro bay (kg)	257	233	240
Xi lò cao (kg)	171	156	160
Đá dăm (kg)	1080	1080	1080
Cát biển (kg)	680	680	680
Chất hoạt hóa (kg)	37	69	71
Nước (kg)	152	159	146

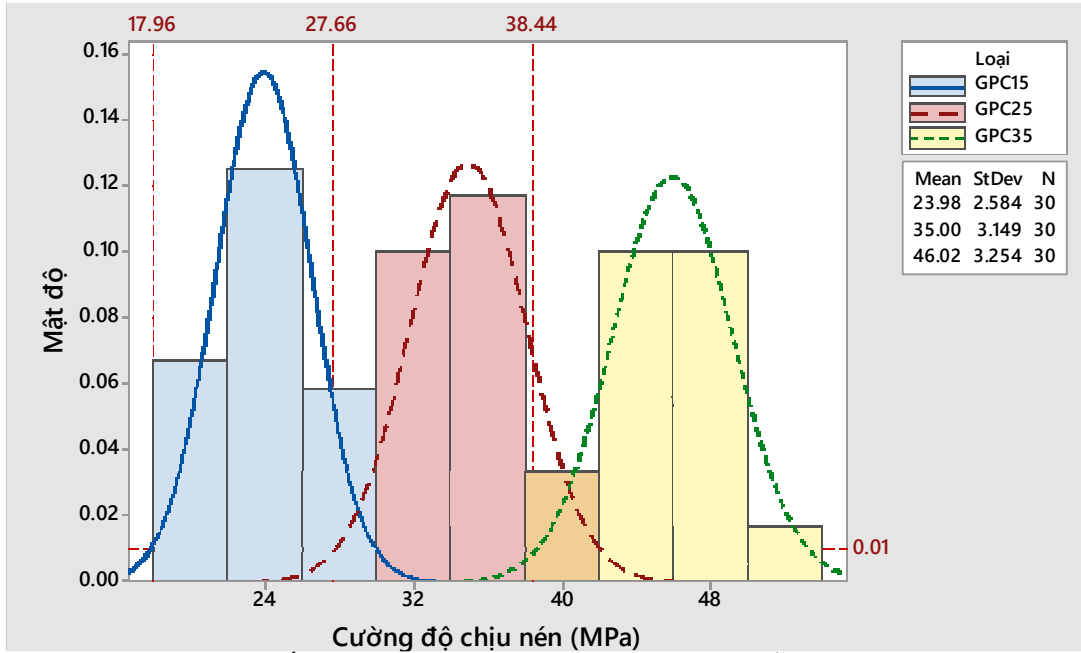
3.4. Kiểm tra cường độ và tính công tác của các hỗn hợp GPC

Căn cứ vào kết quả thiết kế cấp phối bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trên tác giả tiến hành đúc mỗi một cấp phối 30 mẫu hình trụ 15*30 cm cho GPC15, GPC25 và GPC35. Cường độ chịu nén của bê tông GPC được xác định khi nén vỡ các mẫu hình trụ được dưỡng hộ với các ngày tuổi khác nhau, ở điều kiện tiêu chuẩn (nhiệt độ phòng thí nghiệm $t = 22 \pm 4^\circ\text{C}$, độ ẩm $w = 60 \pm 20\%$, không ngâm trong nước như BTXM truyền thống và cũng không bảo dưỡng nhiệt). Sau khi đủ tuổi, mẫu được nén bằng máy nén thủy lực theo ASTM C39 (Hình 9). Các kết quả thí nghiệm được phân tích thống kê và đánh giá kết quả đã được tiến hành theo chỉ dẫn của các tài liệu ACI 214.R-02 [22], ACI 318-11 [21] với độ tin cậy 99%. Kết quả xử lý thống kê cường độ nén được tổng hợp trong Hình 10.

Kết quả cho thấy cường độ đặc trưng của các mẫu thí nghiệm GPC15, GPC25 và GPC35 lần lượt đạt được là 17,96 MPa; 27,66 MPa; 38,44 MPa đều lớn hơn $f'c = 15, 25, 30$ MPa thiết kế. Các kết quả thí nghiệm tiếp tục được phân tích Anova Tukey. Kết quả phân tích Anova Tukey được thể hiện ở Hình 11 cho thấy sự khác biệt đáng kể về cường độ chịu nén trung bình của 3 loại bê tông GPC15, GPC25, GPC35 hoàn toàn có ý nghĩa về mặt thống kê. Do vậy, có thể khẳng định các cấp phối trên đạt yêu cầu về cường độ chịu nén.

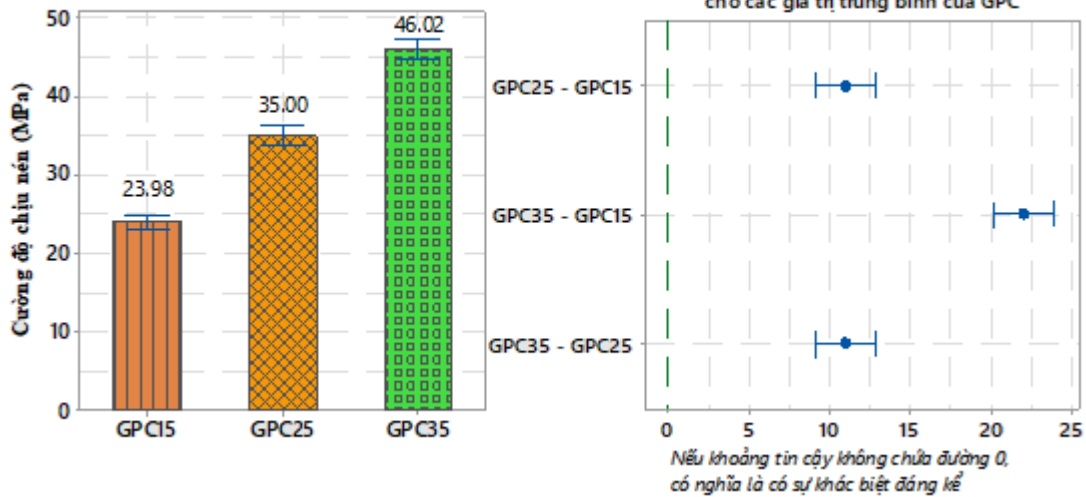


Hình 9. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của các hỗn hợp GPC15, GPC25, GPC35.



Hình 10. Hàm mật độ xác suất và giá trị đặc trưng cường độ của các hỗn hợp GPC15, GPC25, GPC35

Sơ sánh Tukey Simultaneous với khoảng tin cậy 95% CIs cho các giá trị trung bình của GPC



Hình 11. Kết quả kiểm tra cường độ của các hỗn hợp GPC15, GPC25, GPC35



Hình 12. Thí nghiệm xác định độ sụt của các hỗn hợp GPC15, GPC25, GPC35

Ngoài hàm mục tiêu là cường độ nén, để bê tông có thể thi công được trong các ứng dụng của kết cấu thì tính công tác (độ sụt) của hỗn hợp bê tông geopolimer cũng phải được xem xét. Độ sụt của hỗn hợp GPC tươi có $f_c = 15, 25, 30$ MPa được xác theo ASTM C143 [23] (Hình 12). Kết quả thí nghiệm độ sụt đo được lớn nhất là 95 mm và nhỏ nhất 47 mm. Độ sụt của cả 3 hỗn hợp GPC đều đảm bảo tính công tác để thi công các kết cấu chịu lực thông thường theo ACI 211.1-91. Đồng thời, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (GPC15, GPC25, GPC35) cũng được kiểm tra theo ASTM C138, kết quả đạt được giá trị trung bình là 2377 ± 5 kg/m³.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ các kết quả trên, nhóm nghiên cứu có một số kết luận và kiến nghị như sau:

Bằng phương pháp sử dụng dạng thiết kế quy hoạch thực nghiệm bậc II hỗn hợp tâm xoay, 2 biên (Face-centered Design) với khoảng cách trong thí nghiệm chọn là $\alpha = 1$. Nghiên cứu này đã tìm được phương trình hồi quy và tối ưu hóa được 2 yếu tố ảnh hưởng chính đến cường độ chịu nén. Từ đó đưa ra được tỉ lệ phối trộn của 3 loại bê tông GPC15; GPC25; GPC35 có cường độ chịu nén đặc trưng 15, 25, 35 MPa trong phạm vi của các biến được khảo sát;

Mặc dù cát biển có mô đun độ lớn nhỏ nhưng qua đánh giá về cường độ chịu nén trong quá trình khảo sát cấp phối bê tông geopolimer, việc sử dụng cát biển có thể đạt được cường độ chịu nén và tính công tác đáp ứng yêu cầu chịu lực và thi công các kết cấu thông thường có f_c từ 15 đến 35 MPa. Như vậy có thể thay thế cát vàng (cát sông) bằng cát biển trong việc chế tạo bê tông, góp phần sử dụng hiệu quả nguồn cát tương đối phong phú, giảm khai thác lượng cát vàng đang ngày càng cạn kiệt;

Việc sử dụng chất hoạt hoá một thành phần dạng bột giúp cho công nghệ chế tạo bê tông geopolimer trở nên đơn giản hơn chỉ cần cho nước vào trộn tương tự như bê tông xi măng truyền thống mà không cần phải pha trước dung dịch hoạt hóa phối trộn giữa NaOH, thủy tinh lỏng (Na_2SiO_3) và mẫu không cần phải bảo dưỡng nhiệt;

Các nghiên cứu tiếp theo đối với việc ứng dụng chất kết dính geopolimer cho bê tông geopolimer sử dụng cát biển là cần thiết đặc biệt vấn đề về độ bền và khảo sát với rộng hơn với các yếu tố ảnh hưởng. Đồng thời việc nghiên cứu thử nghiệm chất kết dính này trong ứng dụng xây dựng tại các công trình hạ tầng ven biển nên được sớm quan tâm ở Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ GTVT, trong khuôn khổ đề tài DT223009 đã tài trợ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Xin Lyu, Neil Robinson, Mohamed Elchalakani, Michael L. Johns, Minhao Dong, Shidong Nie, Sea sand seawater geopolimer concrete, Journal of Building Engineering, 50 (2022) 104141. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104141>
- [2]. S. Sarker, M. M. Islam, R. Hasan, Study on Sea Sand in Geopolymer Concrete, 4th International Conference on Advances in Civil Engineering, CUET, Chittagong, Bangladesh, December 2018.
- [3]. Trần Ngọc Thanh, Nguyễn Nhật Huy, Dương Minh Triều, Lê Thanh Điền, Đánh giá khả năng chịu nén của bê tông sử dụng cát biển trong các điều kiện bảo dưỡng khác nhau, Tạp Chí Khoa Học

- Công Nghệ Xây Dựng, 14 (2020) 60–72. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(1V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(1V)-06)
- [4]. AM Rashad, M Ghariieb, An investigation on the effect of sea sand on the properties of fly ash geopolymer mortars, *Innovative Infrastructure Solutions*, 6 (2021) 53.
- [5]. Ngô Thị Ngọc Vân, Nghiên cứu sử dụng cát biển và tro bay chế tạo bê tông Geopolymer, Luận văn Thạc sĩ, ĐH Thủy Lợi, 2021.
- [6]. Đào Văn Đông, Trịnh Hoàng Sơn, Chất kết dính và bê tông Geopolyme, Xuất bản lần 1, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, 2021.
- [7]. Rangan, B. Vijaya, Geopolymer concrete for environmental protection, *The Indian Concrete Journal*, 88 (2014) 41–59. <https://espace.curtin.edu.au/handle/20.500.11937/29749>
- [8]. Trịnh Hoàng Sơn, Nghiên cứu một số tính chất chủ yếu của bê tông geopolymer tro bay cốt liệu xỉ thép trong xây dựng mặt đường ô tô ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải, 2020.
- [9]. Trần Việt Hưng, Nghiên cứu thành phần, đặc tính cơ lý của bê tông geopolymer tro bay và ứng dụng cho kết cấu cầu hầm, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải, 2017.
- [10]. TCVN 10302:2014, Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.
- [11]. TCVN 11586:2016, Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.
- [12]. ASTM C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. <https://www.astm.org/astm-tpt-165.html>
- [13]. ASTM C192, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. https://www.astm.org/c0192_c0192m-14.html
- [14]. J. Davidovits, Geopolymer Chemistry and Applications, 5th ed, Geopolymer Institute, 2020.
- [15]. Trịnh Hoàng Sơn, Đào Văn Đông, Nghiên cứu công nghệ và chất lượng bê tông geopolymer sử dụng tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn S95 tại trạm trộn hiện trường, Tạp Chí Giao Thông Vận Tải, 8 (2021) 32–36.
- [16]. Deb, Partha Sarathi and Nath, Pradip and Sarker, Prabir Kumar, Properties of fly ash and slag blended geopolymer concrete cured at ambient temperature, in Yazdani, S. and Singh, A. (ed), *The Seventh International Structural Engineering and Construction Conference, ISEC-7*, Manoa, Honolulu, University of Hawaii, Jun 18-23 2013, pp 571-576.
- [17]. M. Srinivasula Reddy, P Dinakar, B. Hanumantha Rao, Mix design development of fly ash and ground granulated blast furnace slag based geopolymer concrete, *Journal of Building Engineering*, 20 (2018) 712–722. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.010>
- [18]. ATS 5330, Supply of Geopolymer Concrete. <https://austroads.com.au/publications/test-methods/ats-5330>
- [19]. ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html
- [20]. ASTM E178, Standard Practice for Dealing with Outlying Observations. <https://www.astm.org/e0178-21.html>
- [21]. ACI CODE-318-11, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- [22]. ACI 214.R-02, Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete.
- [23]. ASTM C143, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. https://www.astm.org/c0143_c0143m-12.html